

Modélisation du discours sur le temps et simulation

Jean-Pierre Müller¹ & Cédric Ratzé²

CIRAD TA6/15

73, av. Jean-François Breton

34398 Montpellier cedex 5

{jean-pierre.muller, ratze}@cirad.fr

Résumé : La modélisation et la simulation des systèmes complexes passe par la multi-modélisation afin de prendre en compte la multiplicité des regards que l'on peut porter sur l'objet complexe. Dès lors, on ne peut plus compter ni sur l'uniformité des discours sur l'objet (et donc des formalismes utilisés) ni sur l'uniformité des discours sur l'évolution de l'objet, et donc sur le temps. Dans ce papier, nous proposons une ontologie sur le temps qui permet (et même oblige) au modélisateur de spécifier avec les différents modèles le discours sur le temps qui leur est associé. Cette spécification permet ensuite d'articuler les modèles entre eux en assurant leur cohérence temporelle globale.

Mot-clés : simulation, multi-modélisation, ontologie du temps

Introduction

L'objectif du projet MIMOSA [1] est de spécifier les outils permettant au modélisateur de décrire son modèle ainsi que les simulations de celui-ci. La plupart des plateformes de modélisation et de simulation définissent les concepts dans lesquels le modèle est exprimable (STELLA [2], CORMAS [3], etc.) ou laissent partiellement la liberté de définir ces concepts, mais en donnant l'accès direct au langage de programmation sous-jacent (SWARM [4], MadKit [5]). Nous partons du principe, en suivant Maturana [6,7] :

- Qu'un modèle est un discours sur l'expérience, que cette expérience soit produite par les canons de la science ou la vie quotidienne ;
- Que ce, ou plutôt ces, discours se donnent les moyens pour le dire : variables, champs, objets, agent et que ces moyens sont très variés.

En conséquence, un outil générique de modélisation doit permettre de définir à la fois les moyens du discours et le discours lui-même. La modélisation d'un système complexe, par exemple un éco-sociosystème, nécessite la multiplication des points de vue (écologique, agronomique, sociologique, économique, etc.) qui sont autant de discours ayant chacun sa spécificité mais qu'il s'agit

¹ Chercheur associé au LIRMM, 161, rue Ada, 34000 Montpellier

² Doctorant à l'Université de Neuchâtel (Suisse), financé par le projet FNRS no 2153-63958.00

d'articuler les uns avec les autres. En passant, nous insistons sur l'articulation plutôt que l'intégration qui supposerait ou imposerait un discours universel et ultime dans lequel tout pourrait s'exprimer.

La modélisation introduit également un discours sur le temps (de même que sur l'espace, les objets, les processus, etc.), mais lorsqu'on passe de la modélisation à la simulation, ce discours prend une importance particulière [7]. En ce qui concerne le temps, nous faisons également l'hypothèse qu'il n'existe pas de temps en soi mais seulement des discours sur le temps (cyclique, subjectif, irréversible ou non, continu ou discret), chacun d'entre eux étant une mise en cohérence d'expériences distinctes du temps. Cette posture est mentionnée par le [15] quand il est dit dans l'article sur le temps :

« Or, il est permis de s'émanciper de ces conceptions simples [temps linéaire et univoque], en postulant que le temps, s'il possède une dimension de facteur de limitation biologique de l'existence individuelle, n'en est pas moins intégralement produit par les sociétés. Au sein de celles-ci, plusieurs temps coexistent, souvent de façon conflictuelle »,

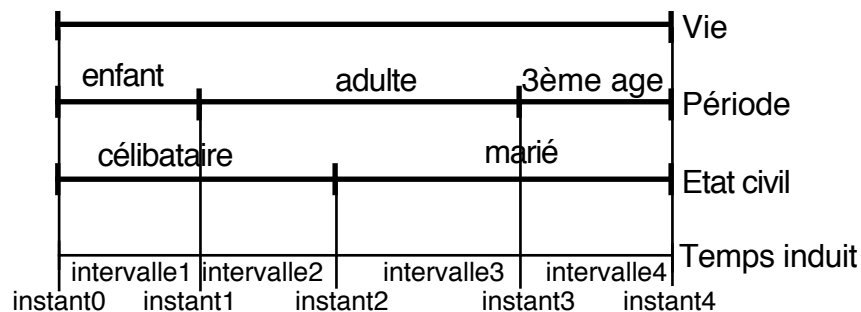
posture que nous reprenons à notre compte. En conséquence, nous avons choisi d'imposer au modélisateur d'exprimer explicitement son discours sur le temps et de s'en servir pour décrire les processus à simuler. Des modèles différents reposeront donc éventuellement sur des modèles du temps distincts qu'il s'agira d'articuler pour pouvoir simuler un système complexe.

Dans la section suivante, nous allons introduire un ensemble de définitions sur les différents types de temps, à la suite de quoi nous introduirons une spécification d'architecture de modélisation et de simulation dont nous pensons qu'elle permet de résoudre le problème de l'articulation de modèles distincts et donc basés sur des temps distincts. En conclusion, nous résumerons notre contribution et ouvrirons quelques perspectives.

Quelques définitions

Dans cette partie, nous introduisons les définitions permettant de définir un *discours sur le temps* et ce qui se passe dans le temps. Très rapidement dit, notre expérience première sur laquelle se construit notre discours sur le temps est basée sur les notions duales d'*événement* et d'*état*. Nous vivons individuellement une succession d'évènements (qui délimitent autant d'états), ou une succession d'états (dont les transitions constituent autant d'évènements). A noter que nous appelons bel et bien *événement* ce qui sépare deux états successifs (donc considérés comme distincts d'un certain point de vue), et non pas ce qui a provoqué ce changement d'état. Ce qui a provoqué un changement d'état et donc l'événement de ce changement, nous l'appellerons *influence*, suivant en cela la proposition de [11].

De la même façon, toute simulation est d'abord un calcul produisant des successions d'évènements et d'états. Sous réserve d'observabilité (ce qui pose problème dans les systèmes distribués), on peut donc en principe observer et décrire cette séquence ou découper l'état global en un ensemble d'états locaux produisant ainsi des ensembles de séquences. De la même façon qu'il n'est pas toujours nécessaire de découpler le lieu de l'objet qui s'y trouve (par exemple, Paris du lieu où se trouve Paris), il n'est pas non plus nécessaire dans un premier temps de découpler l'intervalle de temps de ce qui s'y est passé (la vie d'un homme de l'intervalle de temps entre sa naissance et sa mort) où la date de l'évènement (ou de l'influence) qui s'y est produit(e). Que ce soit l'observation de la réalité ou par simulation, nous appellerons ces successions observées d'états et donc d'évènements, le *temps construit* car les processus réels ou simulés construisent dynamiquement les successions. Dans le cas particulier où le temps construit est engendré par simulation, nous parlerons de *temps du calcul*.



Nous n'allons pas ici explorer l'ensemble des raisons qui peuvent amener la distinction entre, par exemple, un évènement et le temps de cet évènement. Une de celles-ci est de devoir articuler un ensemble de perspectives (comme dans la figure qui précède). En effet, dire que des états se sont passés en même temps fait émerger un temps sur lequel l'un et l'autre se sont produits et pourtant distinct de l'un et de l'autre état. Nous appelons ce temps le *temps induit*.

Sur la base du temps induit, on introduit les notions d'*instants* associés aux évènements et d'*intervalle de temps* (que nous appellerons simplement *intervalles* puisque ce papier se limite au temps) associés aux états. On peut alors décrire les relations fort complexes qui articulent instants et intervalles (avant, après, simultané pour les instants, avant, après, contient, se superpose (de différentes façons), etc. pour les intervalles), donnant lieu aux algèbres de Allen [8] qui, soit dit en passant, on été justement élaborées pour rendre compte du temps dans le discours. En particulier, il n'est pas possible ni nécessaire d'y introduire la notion de date, ni de durée.

Pour introduire la notion de *date* et de *durée*, il faut introduire des *horloges* qui engendrent également des évènements et des états (donc rien de différent

d'autres processus) mais sont considérées comme références pour les autres événements et états. C'est une façon naturelle pour passer d'un temps ordinal à un temps cardinal. Nous appelons *horloge* n'importe quel processus à partir du moment où il est pris comme référence pour parler des états et événements d'autres processus.

A partir du moment où nous nous donnons des instants et intervalles (temps qualitatif) ou des dates et des durées (temps quantitatif), nous sommes passé d'un *temps induit* (dans la mesure où il semble s'écouler indépendamment des états et événements) à un *temps représenté* (ou formalisé). Dans la section suivante, nous décrirons les structures proposées pour le temps représenté. La notion de temps indépendant que les horloges mesureraient (alors qu'elles en produisent un !) et sur lequel se rangeraient les événements et les états se trouve être une abstraction commode pour articuler des successions différentes selon le point de vue (et donc l'expérience) que l'on prend en compte pour construire son temps ordinal. C'est ensuite un choix que ce temps soit cyclique ou linéaire, discret ou continu selon les besoins et les facilités d'expression.

Disposant d'un temps représenté, il est alors possible d'annoter le temps construit, c'est-à-dire les successions d'événements et d'états par le temps représenté dans la mesure où chaque événement peut être associé à un instant et/ou à une date et chaque état à un intervalle et/ou une durée. Nous appellerons cette correspondance entre temps construit et temps représenté, le *temps construit représenté* (et le *temps du calcul représenté* pour le cas de la simulation).

Le temps représenté est l'articulation entre le temps du calcul de la simulation et le temps construit du processus réel que la simulation est censée représenter. Plus exactement, une simulation *représente* un processus réel si leurs temps construits représentés sont identiques, nous parlerons alors de *représentation forte*. On peut avoir une version plus faible de la relation de représentation en découplant le temps représenté de la simulation du temps représenté de l'observation de cette simulation (comme c'est le cas de la réalité vis-à-vis de laquelle seul le temps de l'observation nous est accessible !). Dans ce cas, une simulation représente un processus réel si le temps construit représenté de l'observation de la simulation est identique au temps construit représenté du processus réel. Nous parlerons alors de *représentation faible*. Elle est faible puisqu'il suffit que l'observation coïncide indépendamment de ce qui se passe entre deux observations. A noter que la simulation forte est simplement le cas où le temps représenté du calcul est le même que le temps représenté de l'observation à la fois de la simulation et du processus réel.

Génération du temps et simulation

Le discours sur le temps dont nous avons essayé d'explicitier les nuances est distinct du discours décrivant la production des événements et des états, or, pour la simulation, il s'agit dans un premier temps de décrire comment les événements et les états sont produits et non pas comment, une fois produits, ils sont articulés entre eux. Dans cette direction, les fonctions de transitions (comment on passe d'un événement et d'un état à un autre état en générant des influences ce qui est le cas aussi bien de la structure d'automate classique que des équations différentielles) sont les briques de bases que nous proposons. Nous pourrions en rester là si on ne décrivait qu'un seul processus (lié à un seul modèle) ce qui n'est pas le cas. Si nous avons au moins deux processus (deux modèles) qui interagissent, il ne suffit pas de décrire comment ils produisent et réagissent à des influences mais aussi comment l'observateur produit son discours sur le temps de ces processus pour pouvoir les articuler entre eux. Le relais par le discours est ici indispensable car il s'agit néanmoins de produire des processus compatibles avec le discours déjà construit par ailleurs sur une « réalité ». Si ce n'était pas le cas, il ne s'agirait pas de la simulation de quelque chose mais de la production d'un autre réalité mais virtuelle celle-là comme dans Oris [9]. Nous n'abordons pas ici la simulation comme réalité virtuelle (comme dans les jeux) aussi « réaliste » soit-elle, mais comme déploiement d'un modèle.

Le modèle d'un processus élémentaire est représenté par un n-uplet $M = \langle E, S, Q \rangle$ où :

- E est l'ensemble des influences qu'il reçoit ;
- S est l'ensemble des influences qu'il envoie ;
- Q est l'ensemble des états observables possibles.

A ce stade, nous n'avons pas besoin de faire d'hypothèses sur son fonctionnement, ni sur la nature des influences et la structure des états. En faisant fonctionner ce processus élémentaire, il va produire un temps construit sous la forme d'une séquence d'états : (q_0, q_1, \dots) , q_i dans Q.

Il nous faut nous donner un temps représenté sous la forme d'une structure $T = \langle D, R \rangle$ où :

- D est un ensemble d'entités temporelles (instants, intervalles, dates, etc.),
- R une famille de relations sur D définissant a minima la relation de contiguïté (notée $< !$) qui doit être une relation anti-symétrique, non réflexive et non transitive.

Dans le cas où D est qualitatif, le processus élémentaire doit être décrit par des fonctions de transitions qualitatives ou générer des transitions discrètes (via des seuils ou n'importe quel mécanisme similaire). Si D est isomorphe à \mathbf{N} , le processus élémentaire peut être décrit soit par des fonctions de transitions

qualitatives, soit par des équations aux différences (de la forme $q(t+1) = F(q(t))$). Finalement, si D est isomorphe à \mathbf{R} , on peut décrire le processus élémentaire par des équations différentielles ou des équations du temps.

Pour obtenir un temps construit représenté, il nous faut conjoindre M et T : $MT = \langle M, T \rangle$ de telle sorte à produire d'une façon non ambiguë, la séquence $(\langle q_0, i_0 \rangle, \langle q_1, i_1 \rangle, \dots)$ où q_i dans Q et i_i dans D et telle que $i_i < i_{i+1}$. Nous avons ainsi la génération d'un temps construit représenté à l'aide d'un processus de calcul dont nous n'avons pas besoin de connaître les détails, offrant ainsi la possibilité d'une multiplicité de formalismes concrets de description de processus (y compris les équations différentielles si nous introduisons la possibilité d'avoir un temps continu mais nous n'approfondirons pas ce cas dans ce papier).

Une machine composée MC est un ensemble de machines élémentaires MT_i chacune munie de son temps représenté T_i . Pour avoir un temps représenté au niveau de MC (noté T_{MC}) on peut envisager deux cas de figure :

- Construire dynamiquement une structure de temps qui serait constituée des entités temporelles les moins fines telles que toutes les entités de chaque machine soient, soit une entité de T_{MC} , soit une combinaison d'entités de T_{MC} . Ce n'est rien d'autre que la construction du *temps induit* ;
- Associer une structure de temps arbitraire à MC ainsi que les façons de référencer la structure temporelle de chaque MT_i à partir de celle-ci (des simples transformations de repères mono-dimensionnels).

Dans tous les cas, on obtient une structure de temps T_{MC} de la machine composée ainsi que la façon de traduire le temps représenté de chaque machine élémentaire dans le temps représenté de chacune des autres machines élémentaires³. L'interaction entre les machines élémentaires doit dès lors être gérée comme suit :

- Toute influence engendrée par une machine MT_i à destination d'une machine MT_j doit voir son annotation temporelle traduite de la structure temporelle de MT_i dans la structure temporelle de MT_j , en passant éventuellement par T_{MC} ;
- Si l'état courant d'une machine élémentaire MT_i est annoté par une entité temporelle i , cette machine ne recevra jamais plus une influence annotée par une entité temporelle j telle que $j < i$ (lire j avant i).

La première condition assure la localité du temps (à charge de MC d'assurer les traductions indispensables). La dernière condition préserve le principe de causalité, à savoir que le futur ne doit pas influencer le passé. Il existe de

³ Il reste bien sur à définir proprement les conditions sur les structure du temps $T = \langle D, R \rangle$ pour lesquelles ces transformations d'un temps dans l'autre sont possibles (et descriptibles).

multiples algorithmes dans la littérature pour assurer cette dernière condition (voir dans [13,14]).

A partir de là et en spécifiant les influences entrantes et sortantes de MC, il est possible de considérer MC comme étant un nouveau modèle dynamique qui devient dès lors combinable avec d'autres machines élémentaires assurant ainsi récursivement la construction de modèles dynamiques arbitrairement compliqués. Cette proposition n'est pas sans lien avec DEVS [12] mais y généralise la notion de temps. En effet, dans DEVS on suppose l'existence d'un seul temps global pour l'ensemble du système⁴, hypothèse que nous levons dans notre cas.

Conclusion

En conclusion, nous sommes partis d'une posture épistémologique pour proposer un environnement de modélisation et de simulation basé sur la modélisation du discours sur les choses plutôt que des choses elles-mêmes (quelque soit ce que les choses elles-mêmes sont...ou représentent !). En ce qui concerne le temps sur lequel nous avons, pour faire de la simulation un double discours : celui de sa description et celui de sa génération. Nous en déduisons le principe de conception qui consiste :

- A séparer soigneusement les deux discours, car le discours sur la génération des événements n'est pas le même que celui de leur articulation ;
- A imposer au modélisateur de décrire explicitement l'un et l'autre comme faisant partie explicitement du modèle (ainsi qu'il est suggéré dans [10]) et non pas implicitement comme sur la plupart des simulateurs dans lesquels les ordonnanceurs (schedulers) sont prédéfinis et, en général, sur temps représenté unique.

Finalement, nous montrons comment il est possible d'offrir un cadre temporel à la multi-simulation dans laquelle chaque modèle est muni de son propre temps. Les perspectives sont nombreuses et parmi lesquels :

- La prise en compte du continu alors que l'architecture proposée ne traite que du temps discret, des états et des influences discrètes, pour cela nous nous inspirerons de GDEVs [16] en généralisant notamment la notion d'influence (appelé *événements* dans DEVS) ;
- Articulation avec l'observation et notamment le temps de l'observation (dont nous rappelons qu'il peut être distinct du temps de la simulation). L'idée est de considérer la spécification de l'observation (donc de comment on donne à voir un modèle) comme partie intégrante du modèle (à l'instar du temps) ;

⁴ Les temps locaux sont produits comme des artefacts de la distribution de la simulation sur plusieurs machines, alors que pour nous la localité du temps est premier.

- Validation par une plate-forme opérationnelle avec notamment des algorithmes assurant la cohérence causale et la combinaison de modèles temporellement hétérogènes ;
- Extension de cette plate-forme à la simulation distribuée ce qui ne devrait pas poser de problèmes majeurs puisque la multiplicité des temps locaux est traitée comme parti prenante des modèles et non pas comme un artefact de la distribution.

Références

- [1] <http://www.lil.univ-littoral.fr/Mimosa/>
- [2] Bob Tilideske, Modeling and Simulation using STELLA, Charleston Southern University, archives.math.utk.edu/ICTCM/EP-13/C37/pdf/paper.pdf
- [3] <http://cormas.cirad.fr/>
- [4] <http://www.swarm.org/>
- [5] <http://www.madkit.org/>
- [6] Humberto Maturana, Ontology of observing : the biological foundations of self-consciousness and the physical domain of existence, American society for Cybernetics Conference, 1988
- [7] Humberto Maturana, The Nature of Time, november 1995
- [8] Allen, James F. Maintaining knowledge about temporal intervals , Communications of the ACM 26, 1983
- [9] Harrouet F., oRis : s'immerger par le langage pour le prototypage d'univers virtuels à base d'entités autonomes , Thèse de doctorat en Informatique, Université de Bretagne Occidentale, Brest (France), 8 décembre 2000
- [10] MICHEL Fabien, GOUAICH Abdelkader, "Interaction forte et interaction faible", 10 ièmes Journées de Rochebrune, Rochebrune, France.
- [11] Ferber J. & Müller J.-P. : Influence and reaction : a Model of Situated Multiagent Systems, ICMAS'96, Kyoto, Décembre 1996
- [12] Zeigler B.P., Praehofer H., Kim T.G., Theory of modeling and simulation. Integrating Discrete Event and Continuous Complex Dynamic Systems, Academic Press, 2nd edition, 2000
- [13] Déguénon Pontien, Modèle d'agent pour la simulation répartie par évènements discrets, Thèse de l'Université de Neuchâtel, 1996
- [14] Misra, J., Distributed Discrete Event Simulation, ACM Computing Surveys 18(1), pp. 39-65, 1986
- [15] Lévy J. & Lussault M., Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés, Belin, 2003
- [16] Giambasi N., Escude B., Gosh S., GDEVS : A Generalized Discrete Event Specification for accurate modeling of dynamic systems, Transactions of SCS, Vol. 17, No 3, pp. 120-134, 2000